

## 常用符号表

<p><math>A</math>——线圈窗口面积</p> <p><math>B</math>——磁通密度</p> <p><math>b</math>——宽度</p> <p><math>d</math>——导线直径</p> <p><math>E</math>——电动势, 材料弹性系数</p> <p><math>F</math>——力</p> <p><math>f_g</math>——工作频率</p> <p><math>f_s</math>——制动频率</p> <p><math>H</math>——磁场强度</p> <p><math>h</math>——厚度</p> <p><math>I_{d.max}</math>——最大动作电流</p> <p><math>I_{d.min}</math>——最小动作电流</p> <p><math>I_o</math>——额定电流</p> <p><math>I_g</math>——工作电流</p> <p><math>I_J</math>——执行电流</p> <p><math>I_{LO}</math>——励磁电流</p> <p><math>I_{sr}</math>——输入电流</p> <p><math>I_s</math>——制动电流</p> <p><math>J</math>——转动惯量, 惯性矩</p> <p><math>K_f</math>——返回系数</p> <p><math>K_k</math>——可靠系数</p> <p><math>L</math>——长度</p> <p><math>M_a</math>——动作力矩</p> <p><math>M_f</math>——返回力矩</p> <p><math>M_m</math>——摩擦力矩</p> <p><math>M_y</math>——反作用力矩</p> <p><math>N</math>——每伏匝数</p> <p><math>P_d</math>——动作功率</p>	<p><math>P_{sr}</math>——输入功率</p> <p><math>R_{BL}</math>——并联电阻</p> <p><math>R_{fh}</math>——负荷电阻</p> <p><math>R_{fk}</math>——反馈电阻</p> <p><math>S</math>——截面</p> <p><math>S_{d.min}</math>——最小动作功率</p> <p><math>T</math>——环境温度</p> <p><math>T_0</math>——振荡周期</p> <p><math>t_d</math>——动作时间</p> <p><math>t_f</math>——返回时间</p> <p><math>t_s</math>——整定时间</p> <p><math>U_{d.max}</math>——最大动作电压</p> <p><math>U_{d.min}</math>——最小动作电压</p> <p><math>U_J</math>——执行电压, 极化电压</p> <p><math>U_{jc}</math>——击穿电压</p> <p><math>U_{jp}</math>——精确工作电压</p> <p><math>U_{mn}</math>——输出电压</p> <p><math>U_{sr}</math>——输入电压</p> <p><math>W</math>——线圈匝数</p> <p><math>Y</math>——挠度</p> <p><math>Z_{sd}</math>——整定阻抗</p> <p><math>\beta</math>——闭锁角</p> <p><math>\delta</math>——位移, 气隙</p> <p><math>\rho</math>——电阻系数, 材料密度</p> <p><math>\phi</math>——磁通</p> <p><math>\tau</math>——温升</p> <p><math>\varphi</math>——相位</p> <p><math>\varphi_{M.max}</math>——最大灵敏角</p>
---	--

# 第1章 概述

继电保护装置是电力系统中的不可缺少的重要保护设备。

电力系统在运行时，难免要发生某些故障与不正常运行状态。最常见的故障是各种类型的短路。各种短路的后果和发生短路的地点与持续的时间有关，可能局限于系统中的某一部分，也可能影响到整个系统的运行，造成大面积的停电事故。必须及时地和正确地从中系统中切除其故障部分。有时系统中发电设备功率不足，引起电压和频率下降，或发电设备因突然甩负荷引起过电压等等，都属于不正常运行状态，也须采取措施，使系统迅速恢复正常运行，以提高运行的稳定性和供电的可靠性。一般从发电机开始，在电力系统中的各种设备上，都设置各种类型的继电保护装置。图 31·1-1 为继电保护装置保护范围划分示意图。

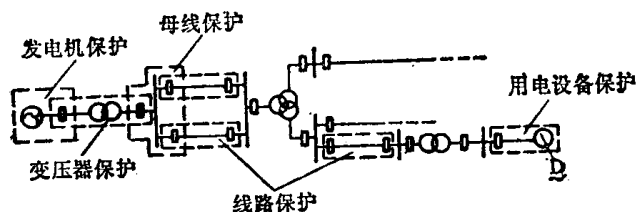


图 31·1-1 继电保护装置保护范围划分示意图

关于电力系统事故分析及其对继电保护装置的要求，可参看本书第 14 篇“电力系统”的有关章节。关于低压线路中所用的继电器，可参阅本书第 30 篇“低压电器”的控制继电器等章节。

## 1 继电保护的任务和基本要求

继电保护装置，应能完成以下几方面的任务：

(1) 当电力系统中的被保护设备发生故障时，它能自动发出指令，通过断路器，将故障设备从电力系统中断开，以保证其他非故障部分的继续运行和防止故障设备的损坏。

(2) 当电力系统发生不正常运行状态时，它能发出信号，以便使值班人员采取必要的措施。或过一段时间后，切除故障设备。

(3) 继电保护装置与自动重合闸等自动装置配

合工作，可使发生非永久性故障的设备，恢复正常运行，从而提高电力系统供电的可靠性。

继电保护装置为了完成上述任务，必须满足下列四个基本要求：

a. **可靠性** 继电保护装置应经常处于完善准备动作状态，不应由于本身的缺陷而误动和拒动。

b. **选择性** 要求继电保护装置只将系统中的故障设备切除，使停电范围尽量缩小，保证非故障设备继续运行。

c. **快速性** 为了限制故障扩大，减轻设备损坏，提高系统的稳定性，必须快速切除故障。

故障切除时间是指从发生故障时起，到断路器跳闸灭弧时为止的一段时间，它等于保护装置动作时间与断路器跳闸时间(包括灭弧时间)之和。在采用断路器跳闸时间为 0.04~0.06 秒的情况下，主保护装置瞬时动作时间一般要求如下：

输电线路电压等级 kV	110	220~330	500~750
主保护装置瞬时动作时间 s	0.1~0.5	0.04~0.1	0.02~0.06

d. **灵敏性** 要求保护装置对被保护的设备中发生的故障或不正常工作状态，应灵敏地反应和正确地动作。

继电保护的基本组成和在电力系统中所起的作用

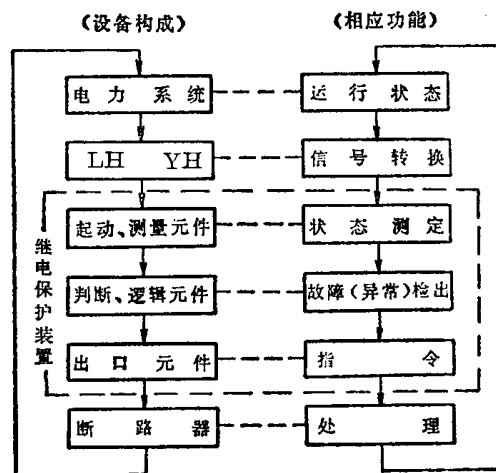


图 31·1-2 继电保护装置在电力系统中的功能示意图

用如图 31.1-2 所示。图中只列出继电保护的主要部分,各部分之间有时还存在着反馈联系。

图 31.1-3 是常用的简单过电流保护装置的原理接线图示例。这种保护装置由电流继电器、时间继电器、中间继电器和信号继电器组成。电流继电器用来判断保护范围内是否发生故障,当被保护设备发生故障时,短路电流增长至大于保护装置的起动电流,电流继电器就起动。时间继电器用来建立适当的延时,以保证保护装置动作的选择性。电流继电器动作后,借其触点将时间继电器的线圈回路接通,于是时间继电器开始动作,经过预定的延时后,其触点闭合,随即起动中间继电器。中间继电器触点闭合后,使断路器的跳闸回路接通,断路器随即跳闸。在跳闸回路中,还串联一个信号继电器,它用来给出保护装置动作的信号。当保护装置动作跳闸时,信号继电器动作,信号牌掉下,同时接通灯光或音响信号回路,以便值班人员能及时发现事故,并在事后进行事故分析。

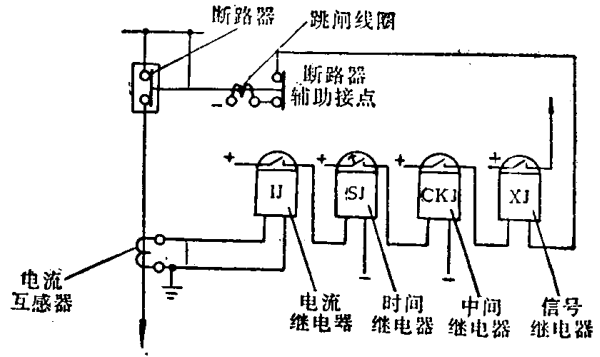


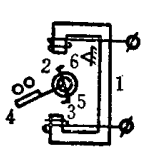
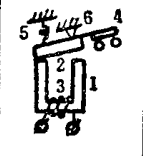

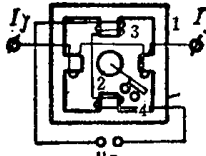
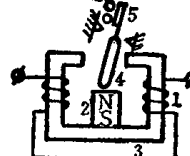
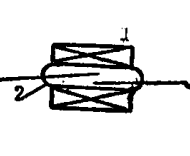
图 31.1-3 定时限过电流保护装置的原理接线图

## 2 继电器的结构原理

构成各种继电保护装置的继电器,按其构成方式可分为机电型、整流型和晶体管型三大类。

机电型继电器包括电磁型、感应型、极化型和干簧型等。常用的机电型继电器的结构原理见表 31.1-1。

表 31.1-1 机电型继电器的结构原理

类型	电磁型			感应型	极化型	干簧型
结构原理						
	(1) 转动舌片式 1—电磁铁 2—可动衔铁 3—线圈 4—触点 5—制动弹簧 6—止挡	(2) 吸引衔铁式	(3) 螺管线圈式	1—电磁铁 2—转动铝杯 3—线圈 4—触点	1—线圈 2—永久磁铁 3—铁芯 4—衔铁 5—触点	1—线圈 2—玻璃管 3—触点片
简要说明	由载流线圈的磁场和电磁铁之间相互作用,而使触点闭合 (1) 转动舌片式可组成电流、电压继电器 (2) 吸引衔铁式,可组成中间继电器 (3) 螺管线圈式,可组成时间继电器			由载流的两组固定线圈,产生的旋转磁场,与可转动的铝杯上所感应的电流之间的相互作用,而使触点闭合,构成功率继电器,阻抗继电器	由载流线圈的磁场和永久磁铁的磁场,相互作用而动作,只有一定方向的电流,加入线圈时才能动作,构成极化继电器。所以只能反应直流电极性变化	由载流线圈的磁场,使两触点金属片磁化而动作,构成干簧继电器

整流型继电器是利用二极管的整流原理配合其他线路或元件构成的继电器。图 31·1-4 为一种整流型阻抗继电器的原理方框图。它的执行元件是一个极化继电器。

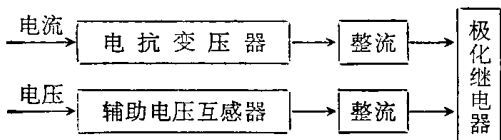


图 31·1-4 整流型阻抗继电器的原理方框图

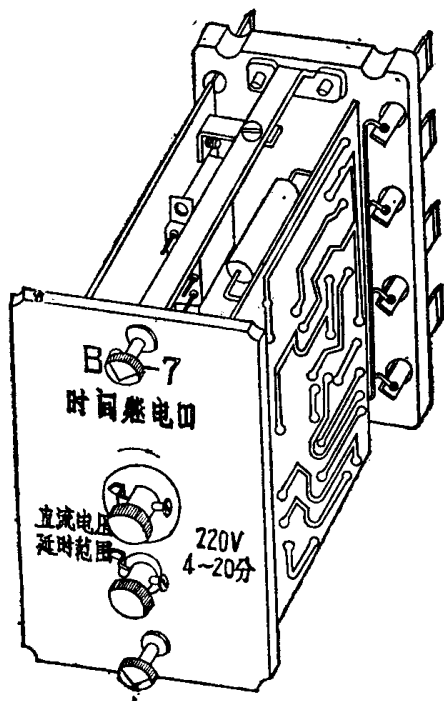


图 31·1-5 晶体管型时间继电器外形和内部结构图

晶体管型继电器是利用晶体三极管的放大和开关作用原理构成的，它是由晶体三极管和二极管、小型变压器及电阻、电容等元件组成。图 31·1-5 为晶体管型时间继电器的外形和内部结构图。

机电型(以感应型产品为代表)、整流型和晶体管型继电器的主要性能，可概括对比如表 31·1-2。各种性能之间是相对的、有矛盾的，应综合考虑，加以选定。

表 31·1-2 三种类型继电器主要性能比较

性能	类型		
	机电型	整流型	晶体管型
动作速度	慢	中	快
灵敏度	低	中	高
功率消耗	大	中	小
抗干扰性	好	好	差
抗温度影响	好	好	差
稳定直流电源	不要	不要	要
机械加工量	大	中	小
成本	低	中	高

目前晶体管型(包括集成电路)继电器与保护装置已大量投入运行。大规模集成电路和电子计算机等在继电器保护技术中的应用，是当前的一个重要的发展趋向。

## 第2章 继电器

继电器按作用可分为测量继电器和辅助继电器两大类。

测量继电器是直接反映电气量变化的继电器，主要的有电流继电器，电压继电器，功率方向继电器，阻抗继电器，频率继电器，差动继电器六类约 20 个系列。

辅助继电器有中间继电器，时间继电器，舌簧继电器和信号继电器四类约 50 个系列。

现将九种产量大应用面广的基本产品分述于后。

### 1 电流、电压继电器

电流、电压继电器在继电保护装置中作为最基本的测量元件，用以进行电流、电压测量，即当电流、电压达到整定值时动作，从而发出信号或给出跳闸指令。

#### 1.1 构成与动作原理

电流、电压继电器一般采用电磁型工作原理，其结构见图 31·2-1。当线圈中通过电流时，所产生的

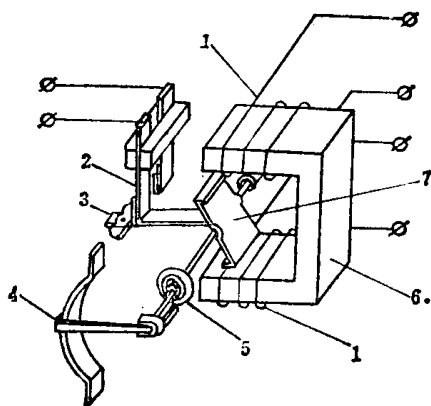


图 31-2-1 电流、电压继电器结构图

1—线圈 2—静触点 3—动触点 4—调整手柄  
5—游丝 6—电磁铁 7—衔铁

磁通经过电磁铁、空气隙和衔铁构成的闭合磁路。Z形衔铁7在磁场作用下产生电磁力矩。当电流增加至动作电流( $I_a$ )时,作用于衔铁的电磁力矩克服游丝和摩擦所产生的反作用力矩,使衔铁转动吸向电磁铁,继电器动作,触点闭合。继电器动作后,当电流减小至返回电流( $I_f$ )时,游丝的反作用力矩等于衔铁的电磁力矩加上摩擦力矩,继电器即返回,触点断开。因此,继电器动作和返回时的条件为

$$M_a = K \frac{(I_a W)^2}{\delta_a^2} \geq M_v + M_m \quad (31.2-1)$$

$$M_f = K \frac{(I_f W)^2}{\delta_f^2} \leq M_v - M_m \quad (31.2-2)$$

式中  $M_a$ ——继电器的动作力矩 gf·cm  
 $M_f$ ——继电器的返回力矩 gf·cm  
 $M_v$ ——游丝的反作用力矩 gf·cm  
 $M_m$ ——摩擦力矩 gf·cm  
 $W$ ——继电器线圈的匝数  
 $\delta_a$ ——动作时的气隙 mm  
 $\delta_f$ ——返回时的气隙 mm  
 $K$ ——常数

继电器的返回系数可以表示为

$$K_f = \frac{I_f W}{I_a W} = \frac{I_f}{I_a} \quad (31.2-3)$$

一般要求继电器的返回系数在0.8以上(对过量继电器而言)。

### 1.2 动态特性

电流、电压继电器的动态特性是产品设计的主要依据,见图31-2-2。图中各曲线分别表示最小刻度和最大刻度下,动作及返回时的力矩、反作用力矩

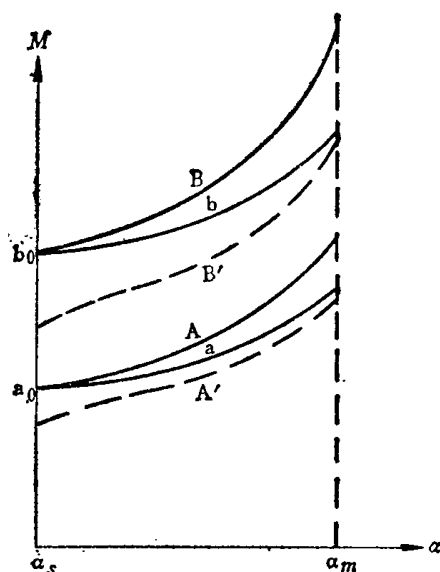


图 31-2-2 动态特性曲线

与衔铁转动角度间的关系。图中,  $\alpha_s$  为 Z形衔铁转动时的起始角;  $\alpha_m$  为 Z形衔铁转动后的终了角。A 为整定在最小刻度时动作力矩与转角的关系曲线; A' 为整定在最小刻度时返回力矩与转角的曲线; a 为整定在最小刻度时反作用力矩与转角的关系曲线; b 为整定在最大刻度时反作用力矩与转角的关系曲线; B 为整定在最大刻度时动作力矩与转角的关系曲线; B' 为整定在最大刻度时返回力矩与转角的关系曲线。从曲线图看,在任何角度下,继电器能正常工作的必要条件为:

$$A > a > A'$$

$$B > b > B'$$

上述条件,可通过选定电磁气隙、Z形衔铁的工作角度、以及游丝的初始力矩来达到。

### 1.3 动作值的调整范围

继电器的动作值,可通过调整游丝的反作用力矩来改变。表31-2-1为常用的电流、电压继电器在使用不同游丝时,最大刻度与最小刻度的动作安匝。

表 31-2-1 动作安匝整定范围

游丝扭转 90° 时的力矩 (mgf·mm)	DY-1		DL-10	
	最小刻度	最大刻度	最小刻度	最大刻度
800	7	14	8	16
4000	30	60	50	100
5000	38	76	—	—

继电器的整定值范围，一般是最大值为最小值的二倍。此外，继电器有两个线圈，可以接成串联或并联，使继电器的整定值范围在1~4倍间变化。如再变换线圈规格和游丝的反作用力矩，则继电器的动作整定值可在很宽的范围内变化。因此，这类继电器规格繁多，应用广泛，并且派生的品种也很多。例如：同步继电器，接地继电器，差流继电器等。

### 1.4 应用扩展方法

为了适应各种需要，例如扩大使用范围，改善继电器性能等，可以在基本的电流、电压继电器的基础上，附加一些元件来达到。表31.2-2列举了扩大应用范围的方法。

### 1.5 消除低电压继电器抖动的措施

电流、电压继电器工作于交流电路中，又没有短路环设施，所以继电器本身存在抖动现象。低电压继电器一般整定值较小，在长时接入额定电压下，由于游丝力矩较小，电磁力矩较大，可动系统以两倍的交流电源周率振动，使触点接触不良，同时易导致轴尖、轴承过早损坏，因此应力求消除抖动。可采取如下措施：

- (1) 调整触点系统，使动触点转动灵活，两静触点片的弹力一致，防震片与静触点片的距离适当；使初始接触角合适，动触点有一段滑动行程。
- (2) 在额定电压下，放松铝架，调整衔铁与导磁

表 31.2-2 应用范围扩展方法

类别	原理接线	性能特点	类别	原理接线	性能特点
改善性能		降低内角，减少继电器的励磁安匝在动作前和动作后的变化，改善继电器特性	改善性能		灯泡的热态电阻约为冷态电阻的八倍，串接灯泡后，可以提高 $\frac{\text{热稳极限功率}}{\text{动作功率}}$ 的倍数
		在达到同上目的的情况下还可以不增加功率消耗		扩大使用范围	
		对电源补偿内角，提高灵敏度；通过二次绕组以提高电压，减小所需补偿电容的容量			可测量电流和电压的和或差，以及两个电源的频率差
		附加全波整流以减少抖动			用以反应零序电压分量
		附加双半波整流以减少抖动			用以反应正序电压分量
		用变流器及补偿绕组以减少电源交流成份的影响		用以反应负序电压分量	
	用串联稳压管以提高返回系数 $\frac{U_f + U_w}{U_a + U_w} > \frac{U_f}{U_a}$ $U_f$ ——返回电压 $U_a$ ——动作电压 $U_w$ ——稳压管电压				

体之间气隙,以触点无振动为准,但应注意气隙不得小于1毫米,以防止动作过程中卡住。

(3) 调整可动系统,使转动角度不要太大,避免触点接触时冲击太大。

(4) 必要时可将衔铁端部向内弯曲。但弯曲后应重复检验动作及返回电压。

(5) 采取如下改进措施:在衔铁上加弹簧片(如图31·2-3所示),或在止挡螺杆上加弹簧片(如图31·2-4所示),避免衔铁和止挡螺杆的直接碰撞。

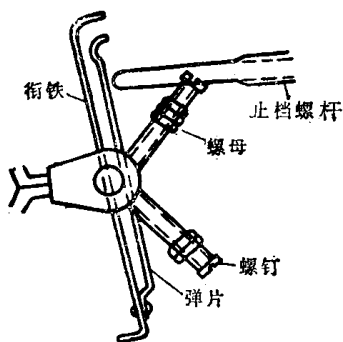


图 31·2-3 可动系统改进结构图

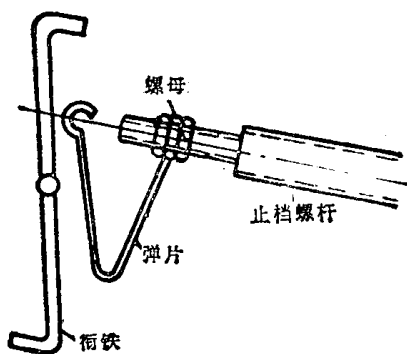


图 31·2-4 采用弹片消除抖动结构图

(6) 增加可动部分的惯量以减轻抖动。改进结构图如图31·2-3所示。图中弹片作缓冲用,螺母增加了可动部分惯量,其上螺杆采用三个螺母,下螺杆用两个螺母,这就使继电器在动作时,由于上面三个螺母产生的重力矩,有助于加快动作,加速返回,从而保证其触点工作可靠,动作干脆。

## 2 过流继电器

过流继电器广泛用作10千伏以下的馈电线和几百千伏安级的变压器或电动机的主保护。当被保护的上述设备发生故障或过负荷时,有较大的电流

流过继电器的线圈,使继电器动作,接通跳闸回路,断开被保护设备的电源。目前,在系统中应用的为感应型和整流型两种过流继电器。

### 2.1 感应型过流继电器

图31·2-5为感应型过流继电器结构图。感应型过流继电器具有有限反时限特性。当通过继电器线圈的电流为动作电流的较小倍数时,其动作时限与电流平方成反比。继电器的动作时限随电流的增加而缩短的特性,称为反时限特性。当电流增大到某一数值时(约10倍动作电流),继电器的动作时限不再随电流而变化,而具有定时限特性。此外,继电器还有瞬动特性。当电流达到瞬动电流的整定值时,继电器接通触点回路。

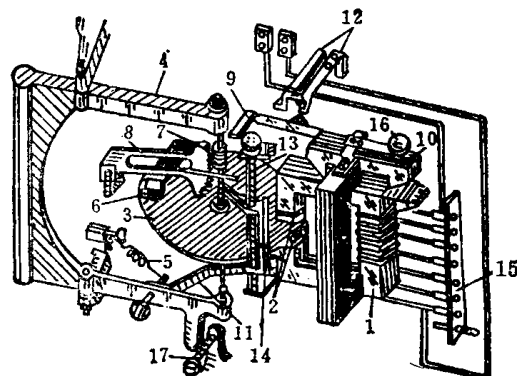


图 31·2-5 感应型过流继电器结构图

1—电磁铁 2—短路环 3—铝盘 4—可动框架 5—拉力弹簧 6—永久磁铁 7—蜗杆 8—扇形齿轮 9—衔铁杠杆 10—瞬动衔铁 11—舌形钢片 12—接点 13—时间调整旋钮 14—时间指示器 15—电流整定板 16—速断整定旋钮 17—框架返回限制螺丝

继电器由感应元件和电磁速断元件两部分组成。

#### 2.1.1 感应元件铝盘转动原理

图31·2-6为感应元件的原理图,向量图示于图31·2-7。感应元件具有带短路环的电磁铁,当继电器线圈中通过交流电流时,产生两个在空间上分开、在相位上差 $\varphi$ 角的磁通 $\phi_I$ 和 $\phi_{II}$ 。根据电磁感应原理,产生一超前磁通 $\phi_{II}$ 向滞后磁通 $\phi_I$ 方向移动的旋转转矩,使铝盘转动。铝盘的动作转矩为

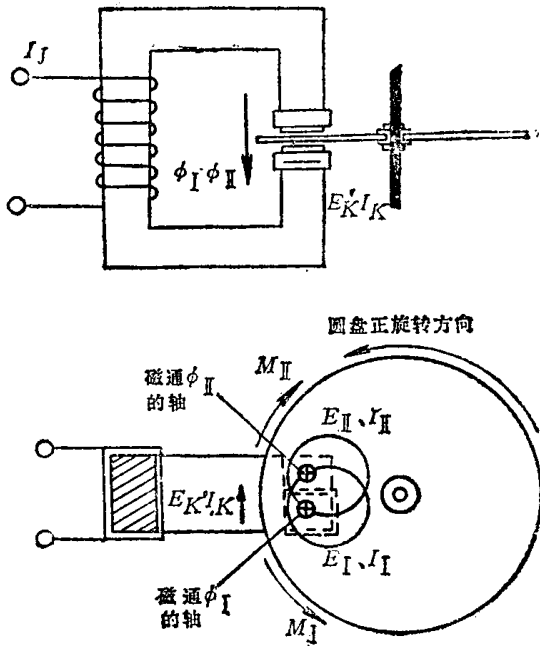


图 31-2-6 感应元件原理图

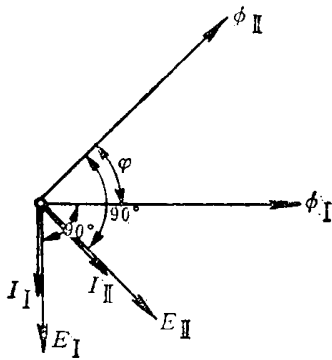


图 31-2-7 感应元件向量图

$$M_d = K\phi_I\phi_{II} \sin \varphi = K'I^2 \quad (31-2-4)$$

当继电器线圈中的电流达到 20~30% 动作电流时，铝盘开始转动，但继电器不动作，因为这时扇形齿板尚未与蜗杆啮合。在铝盘转动时，电磁铁和永久磁铁产生两个作用在铝盘上的力，这两个力企图使铝盘和框架一起转动，但弹簧的反作用力正好是克服这两个力。当线圈中的电流达到动作电流时，电磁铁和永久磁铁产生的两个力的合力大到足以克服弹簧的反作用力，这时，铝盘与框架一起转动，蜗杆与扇形齿板啮合。随着铝盘转动，扇形齿板上升，它的臂推动衔铁臂达到一定位置，瞬动衔铁吸合，使触点闭合。当线圈中的电流等于或小于返回电流时，继电器的触点就断开。

### 2.1.2 反时限部分原理

继电器的动作时限的长短，取决于扇齿与蜗杆啮合到触点闭合时，铝盘所转过的角度  $\alpha$  和转速  $\omega$ ，故动作时限可由下式决定：

$$t_d = \frac{\alpha}{\omega} \quad (31-2-5)$$

由式 31-2-5 可知， $t_d$  的长短与  $\alpha$  和  $\omega$  有关。 $\alpha$  的大小可由改变时间整定旋钮的位置而定，当  $\alpha$  一定时， $\omega$  越大  $t_d$  越短。反之则越长。当继电器线圈中的电流  $I$  增加时，铝盘的角速度  $\omega$  与  $I^2$  成正比地增大，故动作时间就缩短。

### 2.1.3 电磁元件动作原理

继电器的电磁元件由电磁铁、瞬动衔铁及磁分路铁芯组成，磁分路磁通作用于瞬动衔铁上，当电流超过感应元件动作电流的 4~8 倍时，瞬动衔铁瞬时被吸下，从 31-2-5 图中，可看出衔铁臂将触点 12 闭合。瞬动电流的大小可用调整螺丝 16 改变衔铁与电磁铁间的空气隙来调节。由于瞬动衔铁与电磁铁间空气隙的大小对于瞬动电流影响极大，因此整定螺丝应可靠地固定。

感应型过流继电器的动作时限特性见图 31-2-8。

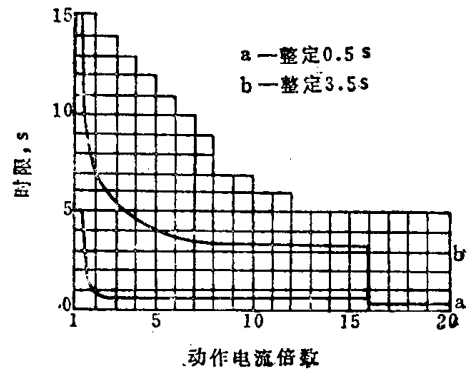


图 31-2-8 感应型过流继电器的时限特性

## 2.2 整流型过流继电器

由于感应型过流继电器的机械结构比较复杂，传动机构精度要求较高，制造不易，而且在使用中由于机械变形、磨损和振动等原因，往往会引起性能变化，产生拒动、误动等现象。近年来，发展了整流型过流继电器，它克服感应型过流继电器的上述缺点，目前在电力系统逐步推广应用。



整流型过流继电器的构成方式如图 31.2-9 所示。其中起动元件与一般的电流继电器相同，执行元件为微型中间继电器，整流部分为通用的单相桥式整流回路，速断部分为常用的电阻分压回路。

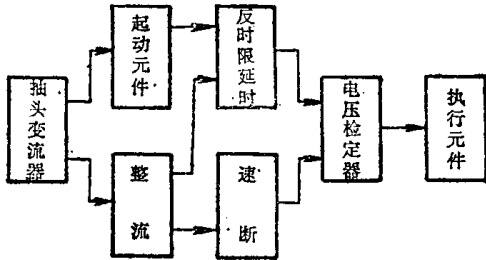


图 31.2-9 构成方框图

### 2.2.1 抽头变流器的设计与反时限特性的获得

设计抽头变流器时要考虑以下几个问题：

- (1) 在 2、2.5、3、3.5、4、4.5、5、6、7、8、9、10 安各整定电流下，其励磁安匝数尽量相同，变差不应大于 5%；
- (2) 能提供起动元件与整流回路以足够的功率；
- (3) 其磁饱和特性曲线能构成反时限特性；
- (4) 尽可能小的体积与功率消耗，并满足额定电流下长期工作中的热稳定要求。

图 31.2-10 中曲线 A 是抽头变流器的综合磁化曲线  $\phi-IW$ ，曲线 B 是在理想的动作条件下，继电器的动作时间  $T_0$  与励磁安匝  $IW$  的曲线。通过改变磁路的截面、气隙等可以改变曲线 A、B 的形

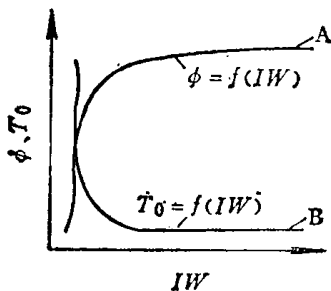


图 31.2-10 综合特性曲线

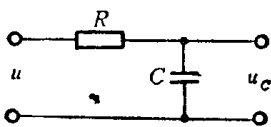


图 31.2-11 充电延时回路

状。因为对于一般的 RC 充电延时回路 (图 31.2-11) 的延时

$$t = RC \ln \frac{u}{u - u_0} \quad (31.2-6)$$

t 为电容器两端电压由零充电到  $u_0$  所需的时间。在同一曲线 A 的情况下，通过选用不同的  $u$  值，不但能改变延时的长短，而且能改变曲线 B 的形状。所以整流型过流继电器的反时限特性是由磁饱和曲线和充电曲线复合而成。为使  $u_0$  值保持不变，需要一个比较稳定的电压检定器。

### 2.2.2 电压检定器

图 31.2-12 为整流型过流继电器的电压检定器原理接线图。这是一个简单的双基极二极管触发器。在整个充电过程，能量在逐渐积累，而只在放电瞬间供给执行元件动作。所以整个充电回路的消耗

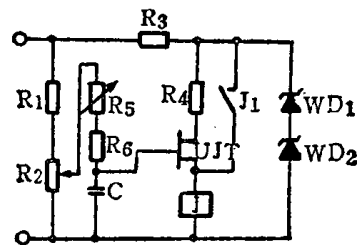


图 31.2-12 电压检定器原理接线图

功率较低，且由于双基极二极管性能较稳定，就能使整个电压检定环节的精度保证在 3% 的范围内。

执行元件 J 有两付常开触点，一付用作出口，另一付用作自保持 (图 31.2-12 中的 J<sub>1</sub>)。其动作速度约在 8ms 以下，保证在放电瞬间能可靠工作。

图 31.2-13 为整流型过流继电器的时限特性。

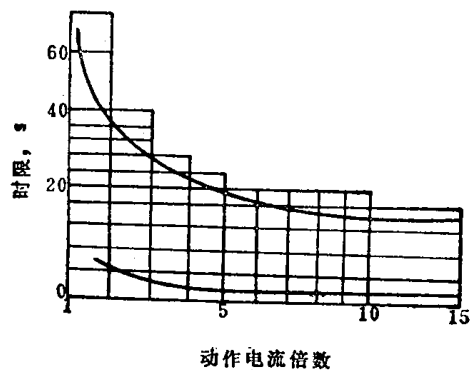


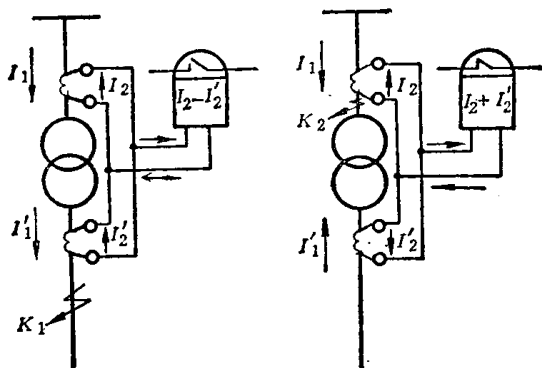
图 31.2-13 整流型过流继电器的时限特性

### 3 差动继电器

差动继电器用于保护变压器和发电机等设备，它反应被保护对象(变压器或发电机)的线路两侧电流的大小和相位的差异。

#### 3.1 动作原理

以变压器的差动保护为例，其原理接线图见图 31.2-14。

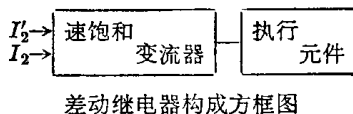


a) 外部故障 b) 内部故障  
图 31.2-14 变压器差动保护原理接线图

在变压器正常运行或发生外部故障时，如图 31.2-14a，两个电流互感器的一次侧的电流  $I_1$  和  $I_1'$  大小相等(假设被保护变压器的变压比等于 1，并忽略励磁电流时)，方向相同，因而两个二次侧的电流也大小相等，方向相同。这时，通过差动继电器的电流  $I_J = I_2 - I_2' = 0$ ，差动继电器不动作。

在发生内部故障时，如图 31.2-14b，两个电流互感器的一次侧的电流  $I_1$  和  $I_1'$  大小不等，且方向相反，二次侧的电流  $I_2$  和  $I_2'$  亦然。这时，通过差动继电器的电流  $I_J = I_2 + I_2'$ 。在这个电流的作用下，差动继电器动作，使断路器跳闸，变压器与电力系统断开，从而保护了变压器。

差动继电器的构成方式如下图。其执行元件是一般的电流继电器。



差动继电器构成方框图

#### 3.2 速饱和变流器

速饱和变流器是差动继电器中的一个重要部件，它的作用为：

(1) 作为一般的抽头变流器，利用不同的抽头来补偿正常运行时  $I_2, I_2'$  的不平衡；

(2) 利用它的速饱和特性来避开励磁涌流和穿越性故障造成的暂态不平衡电流。

##### 3.2.1 具有短路绕组的速饱和变流器

图 31.2-15 是具有短路绕组  $W_d$  的速饱和变流器的原理接线图。因为励磁涌流含有大量的直流成分，速饱和变流器的作用就是当输入电流  $I$  含有直流成分时，随着  $\frac{I}{I_{\sim}}$  比值的增加而使变流器的传变效率相应降低，从而降低二次绕组  $W_2$  供给执行元件 J 的电流，使继电器的起动电流  $I_q$  提高，以避免非内部故障时产生保护误动。

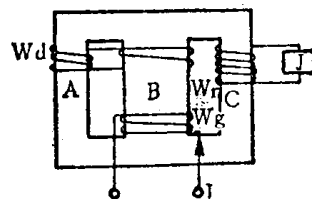


图 31.2-15 具有短路绕组的速饱和变流器原理接线图

图 31.2-16 表示继电器的起动电流  $I_q$  与  $\frac{I}{I_{\sim}}$  的关系。曲线 A 表示非饱和的一般变流器  $I_q$  不因  $\frac{I}{I_{\sim}}$  而变化；曲线 B 表示一般的饱和变流器因直流成分使磁导率降低，使  $I_q$  有所提高；曲线 C 表示带短路绕组  $W_d$  的速饱和变流器  $I_q$  值随直流成分增加而急骤增加。

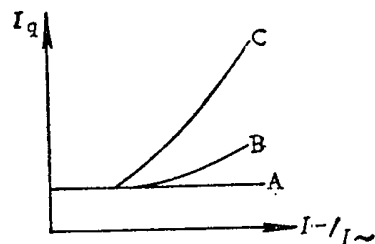


图 31.2-16 直流偏磁特性

速饱和变流器参数的选择如下：

铁芯截面	$S_B = 2S_A = 2S_O$
短路绕组匝数	$W_{dA} = 2W_{dB}$
铁芯磁通密度	$B_O \approx 3B_B \approx 3B_A$
功率传变效率	$\alpha = \frac{P_d}{P_{\sim}} \approx 0.15$

式中  $P_a$ ——继电器动作功率

$P_{sr}$ ——输入功率

工作点的选择应使执行元件在起动力时变流器接近饱和点,这样,速饱和性能好。但是,也要在曲线上与饱和点留有一定的距离,如图 31·2-17 所示。这样选择的目的是:

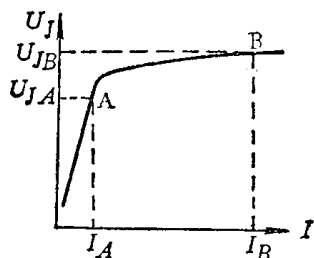


图 31·2-17 饱和特性曲线

(1) 执行元件的动作值有变差,若变到上限时,应不超过饱和点;

(2) 为了使继电器可靠工作,应有 1.35 倍以上的可靠系数,即

$$K = \frac{U_{JB}}{U_{JA}} \geq 1.35 \quad (31\cdot2\cdot7)$$

要求  $I_B = 5I_A$

### 3·2·2 具有制动绕组的速饱和变流器

图 31·2-18 是具有制动绕组的速饱和变流器的

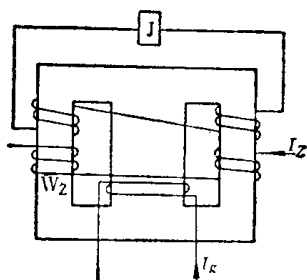


图 31·2-18 具有制动绕组的速饱和变流器原理接线图

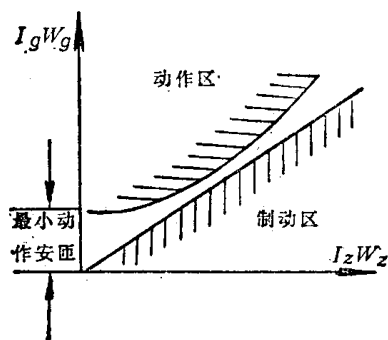


图 31·2-19 制动特性

原理接线图。它以制动绕组  $W_z$  代替短路绕组  $W_s$ , 且有两个二次绕组,一个与制动绕组是顺极性,另一个是反极性,从而使  $I_z$  对  $I_J$  ( $I_J$  为流过执行元件 J 的电流)的传变系数为零,但随着  $I_z$  的增大,磁通密度也增加,使  $I_g$  工作点更趋向饱和。这就使差动继电器的动作值提高,躲过外部短路时的不平衡电流,避免因外部故障而误动。图 31·2-19 表示这类差动继电器动作安匝与制动安匝的关系。它的参数选择与短路绕组型速饱和变流器相同,一般可作为系列产品,只是变换一下绕组就可以了。

因为速饱和变流器的特性和磁化曲线关系很大,为了使从不饱和到饱和的拐点明显,材料多用 D41 硅钢片,并且导磁片要平整、无毛刺,要求严格执行热处理规程,以保证产品质量的稳定。

## 4 功率方向继电器

在继电保护装置中,功率方向继电器广泛地用作短路的方向判别元件。

功率方向继电器,按其构成原理主要可分为感应型、整流型、晶体管型;也可以根据其所反映的电气量而分为全功率方向继电器、负序功率方向继电器和零序功率方向继电器。

由于整流型与晶体管型功率方向继电器使用较多,它们有相同的输入和检测部分,仅执行元件不同,前者没有放大环节,而采用较灵敏的极化继电器或电磁型直流继电器,后者采用晶体管触发放大电路。

### 4·1 整流型功率方向继电器的构成原理

功率方向继电器,是按比较被保护安装处的电压  $\dot{U}_{sr}$  和电流  $\dot{I}_{sr}$  的相位,来判定短路功率方向的。实现这种比较的方式有两种,一种是比较  $\dot{U}_{sr}$  和  $\dot{I}_{sr}$  的相位,而与它们的绝对值无关,称为相位比较式功率方向继电器;另一种是将  $\dot{U}_{sr}$  和  $\dot{I}_{sr}$  转化为两电气量  $A_1$  和  $A_2$ ,只比较  $A_1$  和  $A_2$  幅值的大小,而与它们的相位无关,称为绝对值比较式功率方向继电器。

#### 4·1·1 电气量的变换

绝对值比较式功率方向继电器的原理,首先是将引入继电器的输入电压  $\dot{U}_{sr}$  和电流  $\dot{I}_{sr}$  进行线性变换,获得两个待比较的电气量  $A_1$  和  $A_2$ ,这种变换

关系如下式所示。

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \dot{U}_{sr} + KI_{sr} \\ A_2 &= \dot{U}_{sr} - KI_{sr} \end{aligned} \right\} \quad (31.2-8)$$

式中,  $K$  为常数, 电压  $KI_{sr}$  可通过电抗变压器 DKB (或辅助电流互感器 LH 参见本篇第三章 1.1 节) 将电流  $I_{sr}$  变换得到。电压  $\dot{U}_{sr}$  为电压互感器二次侧电压, 通常通过辅助电压互感器 YH 引入继电器。DKB (或 LH) 和 YH 都有两个匝数相等的次级, 所以各从两个次级线圈输出相等的电压, 将它们按一定的极性关系联接, 因此式(31.2-8)的变换关系可由图 31.2-20 的接线来实现。

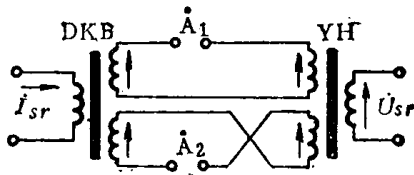
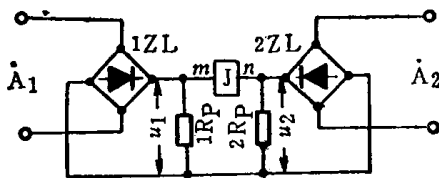


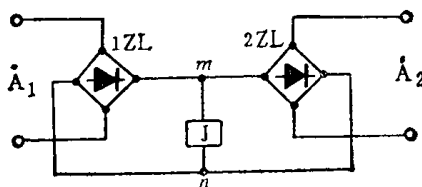
图 31.2-20 检测回路

#### 4.1.2 动作原理

由检测回路获得的两个电气量  $A_1$  和  $A_2$  输送到整流比较回路进行比较。整流比较回路一般有均压式比较和环流式比较二种, 如图 31.2-21 所示。现以均压式比较回路为例, 说明整流型功率方向继电器的动作原理。



a) 均压式比较回路



b) 环流式比较回路

图 31.2-21 整流比较回路

由于当  $|A_1| > |A_2|$  时  $m$  点电位高于  $n$  点电位, 执行元件  $J$  动作。当  $|A_1| < |A_2|$  时  $m$  点电位低于  $n$  点电位,  $J$  不动作, 因此比较回路动作方程式为:

即

$$\begin{aligned} |\dot{U}_{sr} + KI_{sr}| &\geq |\dot{U}_{sr} - KI_{sr}| \\ |\dot{U}_{sr} + KI_{sr}| - |\dot{U}_{sr} - KI_{sr}| &\geq 0 \end{aligned} \quad (31.2-9)$$

执行元件端电压为:

$$U_{mn} = |\dot{U}_{sr} + KI_{sr}| - |\dot{U}_{sr} - KI_{sr}| \quad (31.2-10)$$

所以当  $U_{mn} > 0$  继电器动作, 当  $U_{mn} < 0$ , 继电器不动作。

动作方程式 (31.2-9) 可由它的向量图图 31.2-22 说明。当电流  $I_{sr}$  与电压  $\dot{U}_{sr}$  间的相位角  $\varphi_{sr}$  变化时, 向量  $KI_{sr}$  与  $\dot{U}_{sr}$  间的相位角  $\varphi$  也相应变化, 且  $KI_{sr}$  的末端将以  $O$  为圆心,  $KI_{sr}$  为半径的圆周移动, 整流比较回路输出电压  $U_{mn}$  的正负与相角  $\varphi$  有关。利用余弦定律式 (31.2-10) 可展开如下:

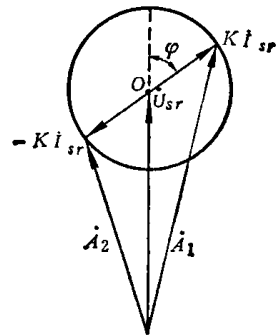


图 31.2-22 向量图

$$\begin{aligned} U_{mn} &= |\dot{U}_{sr} + KI_{sr}| - |\dot{U}_{sr} - KI_{sr}| \\ &= \sqrt{U_{sr}^2 + 2KI_{sr}U_{sr}\cos\varphi + K^2I_{sr}^2} \\ &\quad - \sqrt{U_{sr}^2 - 2KI_{sr}U_{sr}\cos\varphi + K^2I_{sr}^2} \end{aligned} \quad (31.2-11)$$

下面介绍  $U_{mn}$  与  $\varphi$  的变化关系。如图 31.2-23

(1) 当  $\varphi = 0$  时,

$$|\dot{U}_{sr} + KI_{sr}| - |\dot{U}_{sr} - KI_{sr}| > 0$$

即输出电压为正, 且是最大值, 继电器动作, 为最灵敏的情况。如图 31.2-23a 所示。

(2) 当  $0^\circ < \varphi < 90^\circ$  时,  $U_{mn} > 0$ , 继电器动作, 如图 31.2-23b 所示。

(3) 当  $\varphi = 90^\circ$ ,  $U_{mn} = 0$ , 继电器处于动作临界状态, 如图 31.2-23c 所示。

(4) 当  $90^\circ < \varphi < 180^\circ$  时,  $|\dot{U}_{sr} + KI_{sr}| - |\dot{U}_{sr} - KI_{sr}| < 0$ , 即  $U_{mn}$  为负值, 继电器不动作, 如图 31.2-23d 所示。

(5) 当  $\varphi = 180^\circ$  时,  $U_{mn} < 0$ , 且为负值最大值, 继电器不动作, 如图 31.2-23e 所示。

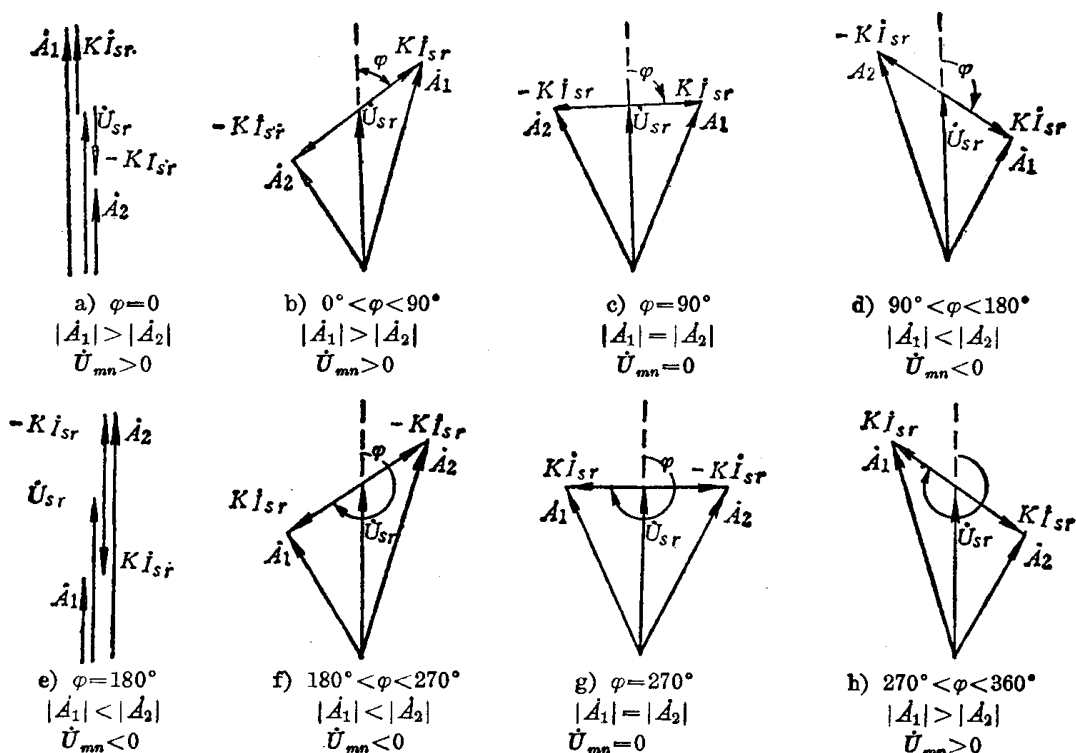


图 31-2-23 绝对值比较式功率方向继电器在不同的  $\varphi$  时的向量图

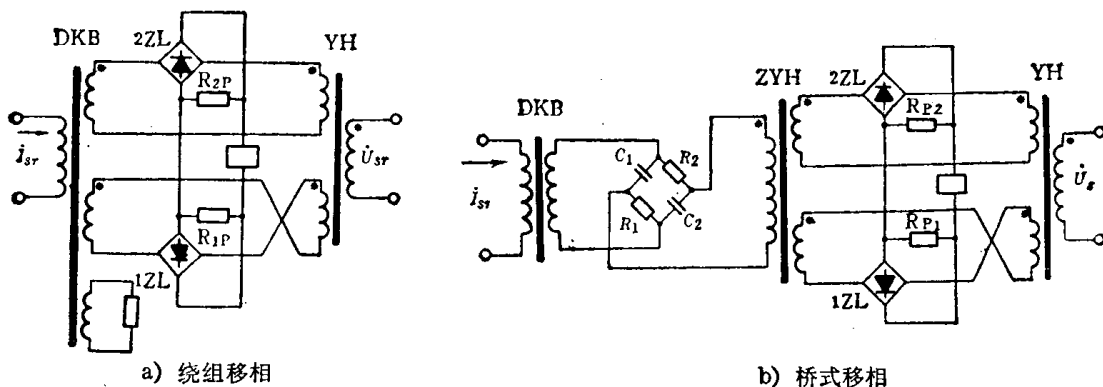


图 31-2-24 整流型功率方向继电器接线图

(6) 当  $180^\circ < \varphi < 270^\circ$  时,  $U_{mn} < 0$ , 继电器不动作, 如图 31-2-23f 所示。

(7) 当  $\varphi = 270^\circ$  时,  $U_{mn} = 0$ , 继电器处于动作临界状态, 如图 31-2-23g 所示。

(8) 当  $270^\circ < \varphi < 360^\circ$  时,  $U_{mn} > 0$ , 继电器动作, 如图 31-2-23h 所示。

由上可知, 当  $\varphi > 270^\circ$  和  $\varphi < 90^\circ$  时,  $U_{mn}$  为正, 继电器动作, 相当于被保护线路正方向短路。当  $90^\circ < \varphi < 270^\circ$  时,  $U_{mn}$  为负, 继电器不动作, 相当于被保护线路反方向短路。因此, 两个电气量  $\dot{A}_1$  和  $\dot{A}_2$  绝对值的比较, 就反应了继电器端子电压  $\dot{U}_{sr}$  和电流  $\dot{I}_{sr}$  间相位的比较关系, 所以它可以用来判定短路

功率方向。

### 4.1.3 获取继电器灵敏角的方法

a. 全功率方向继电器 如图 31-2-23 分析, 当  $\varphi = 0$  时,  $U_{mn}$  为最大正值, 此时继电器具有最大灵敏度, 此时的  $\varphi_{sr}$  叫作继电器的最大灵敏角  $\varphi_{Mmax}$ 。通过电抗变压器 DKB 可以实现电流  $\dot{I}_{sr}$  变换成  $K\dot{I}_{sr}$ 。即利用移相手段使  $K\dot{I}_{sr}$  与  $\dot{U}_{sr}$  同相, 此时功率方向继电器工作在最灵敏的状态。

图 31-2-24 示出了整流型功率方向继电器原理接线图, 图 a 是利用移相绕组进行移相, 图 b 是利用桥式移相原理实现移相。

功率方向继电器的动作方程式可以表为:

$$U_{mn} = \sqrt{U_{sr}^2 + 2U_{sr}KI_{sr}\cos(\varphi_{LM} - \varphi_{sr}) + K^2I_{sr}^2} - \sqrt{U_{sr}^2 - 2U_{sr}KI_{sr}\cos(\varphi_{LM} - \varphi_{sr}) + K^2I_{sr}^2}$$

式中  $\varphi_{LM}$  即  $\varphi_{Mmax}$  (31.2-12)

**b. 零序功率方向继电器** 当被保护线路发生接地短路时, 保护安装处的零序电压  $\dot{U}_0$  滞后零序电流  $\dot{I}_0$  的相角为  $(180^\circ - \varphi_{d0})$ ;  $\varphi_{d0}$  为零序阻抗角一般  $\varphi_{d0}$  为  $70^\circ$  左右, 由图 31.2-25 可知, 在继电器采用  $-3\dot{U}_0$  与  $3\dot{I}_0$  接线方式下, 最大灵敏角应选在  $\varphi_{LM} = \varphi_{d0} = 70^\circ \pm 5^\circ$  范围内。

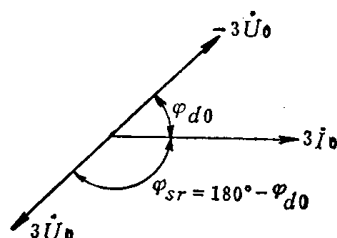


图 31.2-25 零序阻抗角向量图

## 4.2 整流型功率方向继电器的特性

根据继电器动作方程式 (31.2-12) 可知,  $\dot{U}_{sr}$ 、 $\dot{I}_{sr}$ 、 $\varphi_{sr}$  均为变量, 当其中任一量变化时, 继电器特性都要随之改变, 通常采用下列两种特性来表示继电器动作时上述三个量间的相互关系。

### 4.2.1 伏安特性

一般在最大灵敏角下, 表示继电器动作电压  $\dot{U}_{sr}$  与电流  $\dot{I}_{sr}$  的关系曲线, 称为功率方向继电器的伏安特性, 即

$$U_{sr} = f(I_{sr}) \quad (31.2-13)$$

图 31.2-26 中, 曲线为整流型功率方向继电器的伏安特性。继电器端子电压  $\dot{U}_{sr}$  或电流  $\dot{I}_{sr}$  降低到一定数值时, 继电器就不能动作。因此, 此电流和电压分别叫最小动作电流  $I_{dmin}$  和最小动作电压

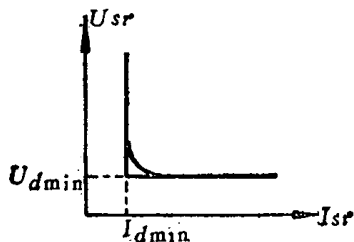


图 31.2-26 伏安特性曲线

$U_{dmin}$ , 它们数值的大小, 在回路参数给定的条件下是随着执行元件的灵敏度而变化的。

由于系统短路时短路电流都比较大, 继电器动作不会受电流的限制。但对于继电器的端子测量电压, 由于在保护装置安装点近处发生短路时, 母线上残余电压有可能小于继电器最小动作电压, 这时, 不管短路电流多大, 继电器都不动作, 这个继电器不动作的范围(即  $U_{sr} = 0 \sim U_{dmin}$ )称为功率方向继电器电压“死区”。显然继电器的最小动作电压越小, 则“死区”范围也越小。

### 4.2.2 角度特性

功率方向继电器的动作电压与相应的电流的乘积称为功率方向继电器的动作功率。若此电压与电流间的夹角  $\varphi_{sr}$  等于继电器灵敏角  $\varphi_{Mmax}$ , 则此动作功率最小, 称为最小动作功率  $S_{dmin}$ 。动作功率  $S_d$  与角度  $\varphi_{sr}$  的关系曲线, 称为功率方向继电器的角度特性。

$$S_d = f(\varphi_{sr}) \quad (31.2-14)$$

角度特性, 可以用直角坐标或极坐标两种形式表示。如图 31.2-27 所示。

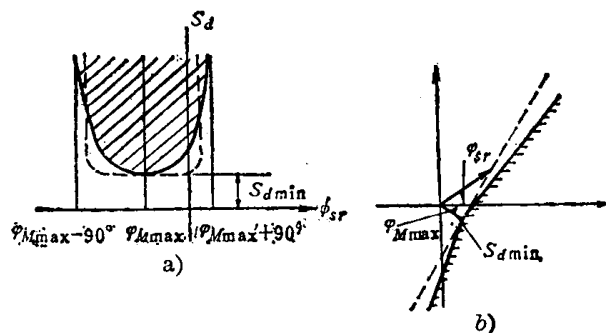


图 31.2-27 角特性曲线

图 31.2-27a 是直角坐标表示的角度特性, 当  $\varphi_{sr} = \varphi_{Mmax}$ , 继电器动作功率最小, 最灵敏。动作范围在以  $\varphi_{Mmax}$  为中心的  $\pm 90^\circ$  范围以内。图 31.2-27b 是极坐标表示的角度特性, 这个角度特性是一条直线。两图中阴影部分表示继电器可以动作的相角范围, 当加入继电器功率向量落在阴影以内时, 继电器就动作。

绝对值比较式功率方向继电器, 由于执行元件所需要的动作电压  $U_d$  是个不变值, 而继电器在角度  $\varphi_{sr}$  为某个范围内, 整流比较回路输出电压  $U_{mn}$  始终大于或等于  $U_d$ , 故在此角度范围内继电器均

可按最小动作功率动作,因此绝对值比较式功率方向继电器角度特性如图中虚线所示。

## 5 阻抗继电器

阻抗继电器主要用作距离保护装置的阻抗测量元件、起动元件(见第4章)和综合重合闸装置的选相元件(见第5章);有时也与其他保护装置配合使用(如用于高频相差动保护装置,作为三相对称短路的起动元件),实现辅助保护作用。

阻抗继电器是反映其输入端子上电压和电流的比值,即  $Z_J = \frac{U_J}{I_J}$ ,并将此测量阻抗  $Z_J$  与整定阻抗  $Z_Z$ (保护装置安装处至保护范围末端之间的阻抗值)进行比较,当  $Z_J < Z_Z$  时,继电器动作;而当  $Z_J > Z_Z$  时,继电器不动作。

### 5.1 分类

阻抗继电器按其构成原理,可分为感应型、整流型、晶体管型等。

阻抗继电器按其动作阻抗特性轨迹有方向阻抗继电器、偏移特性方向阻抗继电器、全阻抗继电器、椭圆阻抗继电器、四边形阻抗继电器等。阻抗继电器类型很多,还有电阻性继电器、电抗性继电器、闭锁式阻抗继电器、透镜形阻抗继电器、苹果形阻抗继电器、抛球特性阻抗继电器等,这些类型继电器应用不多。此外,还有多相补偿阻抗继电器,综合式多用继电器等。

目前普遍应用的是整流型阻抗继电器。晶体管型阻抗继电器的应用也越来越多。

### 5.2 整流型阻抗继电器

整流型阻抗继电器常用的类型有三种:

(1) 方向阻抗继电器: 特性圆通过阻抗复数平面的坐标原点。

(2) 偏移特性方向阻抗继电器: 为方向阻抗继电器派生产品特性圆在阻抗复数平面上稍向第三象限偏移。

(3) 全阻抗继电器: 特性圆圆心位于阻抗复数平面的坐标原点。

整流型阻抗继电器一般分为绝对值比较式和相位比较式两种。本节介绍绝对值比较式的阻抗继电器。有关相位比较式的原理参看第3章。

#### 5.2.1 动作原理

图 31-2-28 示阻抗复数平面上圆,  $Z'$  和  $Z''$  分别为自原点至圆周(过圆心)的最大和最小距离的两个向量,则圆心至原点的距离为  $\left| \frac{Z' + Z''}{2} \right|$ , 圆半径为  $\left| \frac{Z' - Z''}{2} \right|$ 。

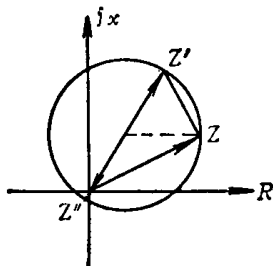


图 31-2-28 阻抗继电器的动作特性图

若  $Z$  为原点至圆周的一个矢量,则

$$\left| Z - \frac{Z' + Z''}{2} \right| = \left| \frac{Z' - Z''}{2} \right| \quad (31-2-15)$$

上式经过变换并令

$$\frac{Z' + Z''}{2} = Z_{ZD1}, \quad \frac{Z' - Z''}{2} = Z_{ZD2}$$

和

$$I_{gr} \cdot Z = \dot{U}_{gr}$$

则得:

$$|\dot{U}_{gr} - I_{gr} Z_{ZD1}| = |I_{gr} Z_{ZD2}| \quad (31-2-16)$$

式(31-2-15)系阻抗复数平面上的圆方程,该特性圆包括坐标原点。按式(31-2-16)实现的电路接线所构成的阻抗继电器其特性系一具有偏移特性的阻抗圆,见表 31-2-3。

表 31-2-3 为常用整流型阻抗继电器的特性及动作方程式。

#### 5.2.2 构成

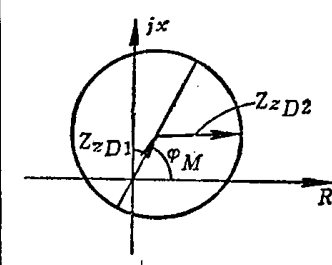
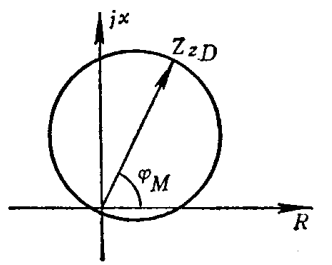
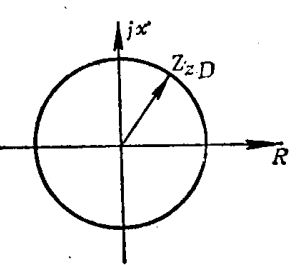
如第1章图 31-1-4 所示,整流型阻抗继电器由下列三个部分构成:

- (1) 电抗变压器和辅助电压互感器;
- (2) 整流比较电路;
- (3) 执行元件。

有关电抗变压器和辅助电压互感器的设计参看第3章。

出口元件一般采用极化继电器,或干簧继电器、小型中间继电器。

表 31.2-3 常用整流型阻抗继电器的特性及动作方程式

名称	偏移特性的方向阻抗继电器	方向阻抗继电器	全阻抗继电器
动作方程式	$ \dot{U}_{sr} - \dot{I}_{sr} \cdot Z_{ZD1}  \leq  \dot{I}_{sr} \cdot Z_{ZD2} $	$ \dot{U}_{sr} - \dot{I}_{sr} \cdot \frac{Z_{ZD}}{2}  \leq  \dot{I}_{sr} \cdot \frac{Z_{ZD}}{2} $	$ \dot{U}_{sr}  \leq  \dot{I}_{sr} \cdot Z_{ZD} $
特性曲线			
特点	出口短路无电压死区 反向出口短路会动作	具有明确的方向特性	没有方向特性 出口短路无电压死区

5.2.3 获取最大灵敏角的方法

5.2.1 中各动作方程式中电压量  $\dot{U}_{sr}$  是反映保护安装处的母线电压(或线路电压),取自仅用电压互感器的二次侧经整定变压器在其二次侧获取,而  $\dot{I}_{sr} \cdot Z_{ZD}$  可视为电流在某一固定阻抗上的压降,通常采用带气隙的电抗互感器在其二次侧获取相应的电压量,为了保证方向阻抗继电器在系统故障时工作于最大灵敏角,需将电流移相,通常采用下述二种方式:

(1) 电抗互感器的二次侧部分匝数上并联电阻,如 31.2-29a 示,当一次侧通入电流时,在其二次侧感应出电势  $E$ ,其相位滞后励磁电流  $\dot{I}_{LC} 90^\circ$ ,电势  $E$  为  $E'$  与  $E''$  之和,而  $E'$  在附加电阻上产生一电流  $\dot{I}'$ ,从而得到一附加电压  $\dot{U}'_2$ ,二次侧电压  $\dot{U}_2$  为  $\dot{U}'_2$  与  $-E''$  之和,当改变附加电阻  $R$  数值时,将改变  $\dot{U}'_2$ ,从而改变了  $\dot{U}_2$  (并引起角度  $\varphi$  的改变)见图 31.2-29b。调节  $R$  数值使  $\varphi = \varphi_M$ ,即最大灵敏角,继电器最灵敏。

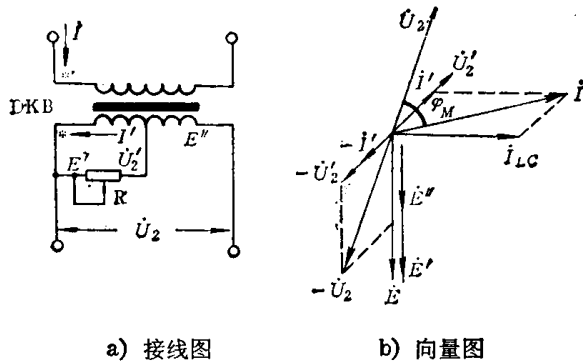


图 31.2-29 并联电阻法移相

(2) 电抗互感器次级具有独立的移相绕组,如图 31.2-30a,移相电阻接于其上,当改变  $R$  阻值时,次级电压  $\dot{U}_2$  的数值和相位(主要是相位)也发生变化,以此实现调整阻抗继电器最大灵敏角的目的。此法优点是当改变  $R$  阻值时对交流二次侧回路平衡影响较小,缺点是增加一独立绕组。其电流、电压向量如图 31.2-30c 示。

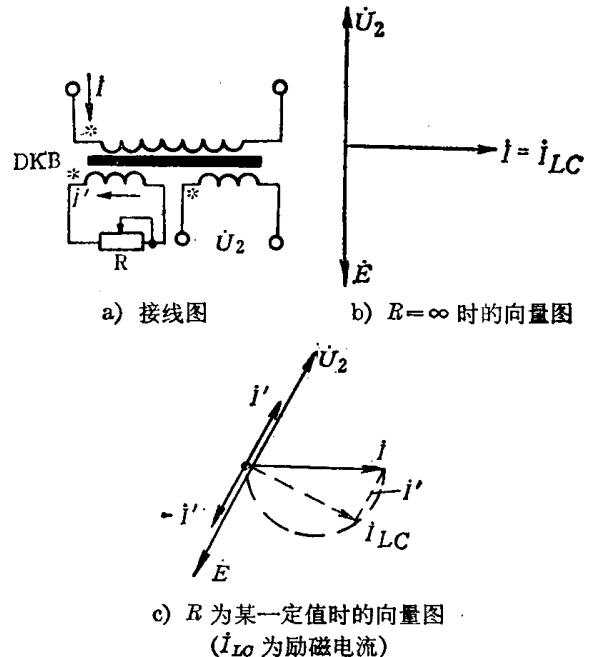


图 31.2-30 具有独立移相绕组的 DKB 移相原理

5.2.4 消除死区措施

(1) 按(31.2-16)式构成的方向阻抗继电器,当在继电器安装处发生短路时,由于工作电压  $U_{sr}$  等



于零而拒绝动作,也即存在电压死区,为消除出口短路的死区,从而引入极化电压  $\dot{U}_J$ , 动作方程式为:

$$\left| \dot{U}_J + \dot{U}_{sr} - \dot{I}_{sr} \frac{Z_{DZ}}{2} \right| \leq \left| \dot{U}_J + \dot{I}_{sr} \frac{Z_{DZ}}{2} \right| \quad (31.2-17)$$

此时当发生出口短路时,  $U_{sr}=0$ , 则上式变为:

$$\left| \dot{U}_J - \dot{I}_{sr} \frac{Z_{DZ}}{2} \right| \leq \left| \dot{U}_J + \dot{I}_{sr} \frac{Z_{DZ}}{2} \right| \quad (31.2-18)$$

显然上式为一按相灵敏结线的功率继电器的动作方程式,故此时继电器的动作灵敏度是很高的,可见极化电压的引入,能可靠消除阻抗继电器的电压死区。

(2) 为消除出口三相短路的死区,极化电压必须具有记忆作用,即应构成谐振回路,在三相短路发生后的短暂时间内极化电压逐步衰减至零,以使继电器来得及可靠动作,为了使极化电压的引入不致影响继电器的特性,极化电压必须与工作电压  $\dot{U}_{sr}$  同相。

### 5.3 整流比较电路

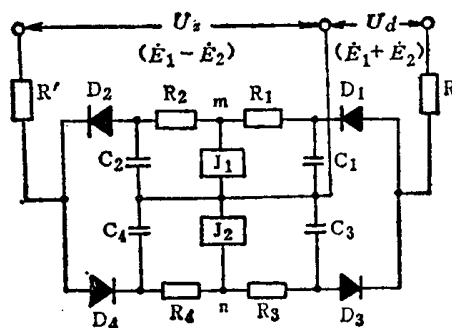
比较方式分环流法和均压法两种,两者相比,前者从整流桥交流侧看进去的阻抗较低,输出电压较低,因而适用于输入阻抗较低的执行元件或晶体管触发电路,而后者自交流侧看进去的阻抗较大,输出直流电压较高,为了得到良好的动作特性,需要有较好的滤波措施。

目前,有些阻抗继电器采用灵敏度较高的双半波整流比较电路。这种电路用四只二极管代替通用的两组整流桥,利用二只二极管分别实现正负半波整流,因此交流电压只需克服一个二极管的正向压降,而二极管压降正是影响阻抗继电器灵敏度(如精确工作电流)的关键所在,故采用这种整流比较电路可提高阻抗继电器的灵敏度。

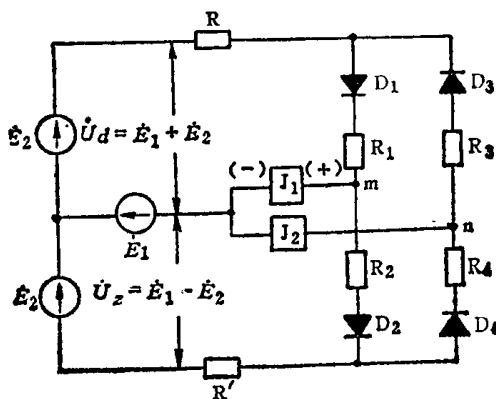
#### 5.3.1 双半波环流法整流比较电路

图 31.2-31a 示双半波环流法整流比较电路原理图,  $R_1 \sim R_4$  是为提高回路输出电压的电阻,  $C_1 \sim C_4$  是滤波电容,以减小继电器不明显动作区,  $J_1$  和  $J_2$  为极化继电器的两绕组。  $\dot{U}_a$  为动作电压,  $\dot{U}_z$  为制动电压。

(1) 图 31.2-31b 示等效电路,由  $D_1 D_2$  和  $J_1$  形成正半波整流回路。



a) 双半波环流整流比较电路原理图



b) 等效电路

图 31.2-31 双半波环流比较电路接线及等效电路

1) 当  $E_1$  与  $E_2$  同相时  $|E_1 + E_2| > |E_1 - E_2|$ , 此时工作电压绝对值较制动电压大,  $J_1$  上压降  $U_{J1}$  为正值,如图 31.2-32a 所示。

2) 当  $E_1$  与  $E_2$  反相时,  $|E_1 - E_2| > |E_1 + E_2|$ , 此时制动电压绝对值较大,  $J_1$  上的压降,  $U_{J1}$  为负值,见图 31.2-32b 所示。

(2) 由  $D_3, D_4$  和  $J_2$  组成的负半波整流比较回路,同理可得到如图 31.2-32c 和 d 所示的波形。

(3) 从  $m, n$  点看去,  $J_1$  和  $J_2$  两绕组系串联联结,故合成电压如图 31.2-32e 和 f 所示。

在有滤波措施的情况下,执行元件能可靠的动作或制动。

#### 5.3.2 双半波均压法整流比较电路

双半波均压法接线原理图示于图 31.2-33a, 其等效电路如图 b 所示。

(1) 由  $D_1, D_2, J_1$  组成的正半波整流比较回路的工作情况:

1) 当  $E_1$  与  $E_2$  同相时, 则有  $|E_1 + E_2| > |E_1 - E_2|$ , 即工作电压绝对值大于制动电压绝对值,  $J_1$  上压降为正值,其波形如图 31.2-34a 所示。